

# Геомеханические аспекты выбора технологии подземной разработки месторождения

Александр Владимирович САХНОВ  
Олег Знаурович ГАБАРАЕВ\*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Россия

## Аннотация

**Цель и актуальность работы.** Статья посвящена актуальной проблеме выбора оптимальной по условиям локализации месторождения системы разработки для вовлекаемого в эксплуатацию нового месторождения. **Целью исследований** является обоснование эффективной технологии разработки месторождения по геомеханическим условиям.

**Методология.** По литературным данным осуществляется критический анализ полноты выемки запасов и эффективности рекомендуемых к применению систем разработки с открытым выработанным пространством и обрушением руд. На основании анализа вариантов технологий делается инженерный прогноз результатов их реализации и рекомендуется альтернативный вариант системы.

**Результаты и область применения.** Описаны горно-геологические условия локализации золоторудного месторождения и схема вскрытия его запасов. Даны характеристика рекомендуемых проектом к применению вариантов систем разработки, анализ показателей качества извлечения запасов. Предложена альтернативная технология с закладкой выработанного пространства твердеющими бетонными смесями, отличающаяся более высокими показателями качества добываемых руд. Показано, что качество руд является функцией полноты учета геомеханических факторов эксплуатации месторождений. Отмечено, что утилизация хвостов обогащения руд возможна только при условии их деметаллизации до определенных пределов и обозначено направление осуществления этого. Предложена эколого-экономическая модель оценки эффективности технологии разработки месторождения по соотношению эколого-экономических показателей.

**Выводы.** Условиям рассматриваемого сложноструктурного месторождения ценных руд отвечают варианты систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими бетонными смесями, обеспечивающие управляющий контроль напряжений в рудовмещающих массивах и существенно более высокое качество добываемых руд, применяемое оборудование и инфраструктура.

**Ключевые слова:** золоторудное месторождение, запасы, система разработки, качество извлечения, закладка, твердеющие смеси, геомеханические факторы, модель.

## Введение

Золото-серебряное месторождение Кекура имеет форму штока, в плане имеет зональное строение и локализовано в пределах геологической структуры шириной 15–40 км и протяженностью 1600 км. Основу разреза составляют вулканогенно-терригенные породы триасового и юрского возраста. Тектономикститы характеризуются хрупкими и пластическими деформациями стратифицированных толщ и секущих их интрузивных тел [1].

Рудная минерализация вмещается гранодиоритами, березитизированными и образующими крупное интрузивное тело в центральной части массива. Месторождение является узлом пересечения разрывных структур.

С поверхности массив представляет собой тело, удлиненное в северо-восточном направлении вдоль разломов соответствующей системы. Длинная ось массива составляет около 6 км при ширине 2–4 км.

Основной объем интрузии составляют кварцевые монцодиориты. Между монцодиоритами и гранодиоритами устанавливаются интрузивные контакты. Массив

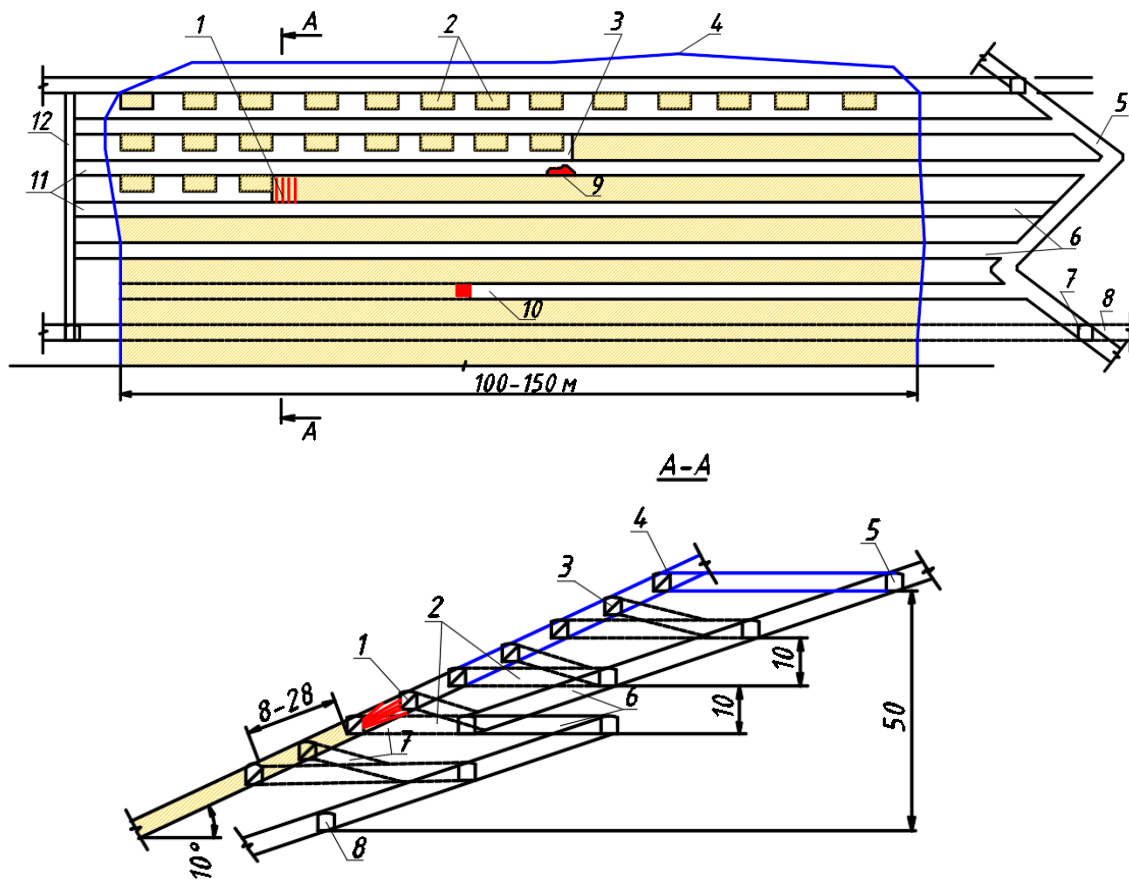
имеет форму штокообразной интрузии с крутыми контактами.

Вмещающими породами рудного массива служат интенсивно тектонизированные флишоиды, а также терригенные и вулканогенно-терригенные породы. Рудоконтролирующим фактором золотого оруденения в пределах рудного поля является структурно-тектонический. Месторождение контролируется узлами пересечений разрывных структур разных направлений.

Отличительной особенностью рудной зоны является присутствие даек лампрофиров мощностью от первых сантиметров до 2–5 м, которые играют роль структурных реперов. В пределах месторождения помимо даек лампрофиров выявлено широкое развитие других пород дайкового комплекса, включающего серию даек гранодиорит-порфиров, диоритовых порфиритов и кварцевых порфиров.

Схема вскрытия подземных запасов определяется взаимодействием основных факторов, в том числе: ре-

\*gabaraev59@mail.ru18



**Рисунок 1. Камерно-столбовая система разработки:** 1 – забой; 2 – рудные целики; 3 – камера; 4 – контур оруденения; 5 – наклонный съезд; 6 – заезд на подэтаж; 7 – квершлаг; 8 – штрек; 9 – отбитая руда; 10 – подэтажный штрек; 11 – доставочные штреки; 12 – слепой ствол

**Figure 1. Room and pillar mining system:** 1 – face; 2 – ore pillars; 3 – room; 4 – mineralization contour; 5 – runaway; 6 – entry to the subfloor; 7 – crosscut; 8 – drift; 9 – broken ore; 10 – sublevel drift; 11 – delivery drifts; 12 – blind shaft

льеф местности, параметры залегания рудных тел, применяемое оборудование, влияние открытых и подземных горных работ, инфраструктура. Вскрытие запасов осуществляется наклонными съездами, штольней, квершлагами, полевыми штреками.

По условиям локализации месторождение относится к сложноструктурным, где качество добываемых руд определяется поведением рудовмещающего массива при обнажении в силовых полях напряжений [2–4].

Близким аналогом рассматриваемому месторождению является месторождение Маньбайское (Северный Казахстан).

В качестве основной системы разработки проектируется камерно-столбовая система разработки для слабонаклонных рудных тел и подэтажное обрушение для крутопадающих рудных тел [5–7].

Вопросы отработки месторождений рассматриваемого типа формируют актуальную проблему, поскольку соседствуют с проблемой сохранения окружающей среды от технологических воздействий [8–12].

Целью исследования является анализ допустимых к применению по условиям локализации месторождения Кекура технологий разработки. Для достижения цели решаются задачи, в том числе обзор возможных систем разработки, оценка потерь и разубоживания при выемке запасов и направления удешевления стоимости получения товарного продукта.

**Таблица 1. Параметры очистного блока**

**Table 1. Cleaning block parameters**

Параметры	Значения
Высота по падению, м	110
Длина по простиранию, м	110
Мощность рудного тела, м	4,8
Высота этажа, м	50
Геологические запасы блока, т	154 000
Потери, %	10,5
Разубоживание, %	19,1
Эксплуатационные запасы блока, т	170 000

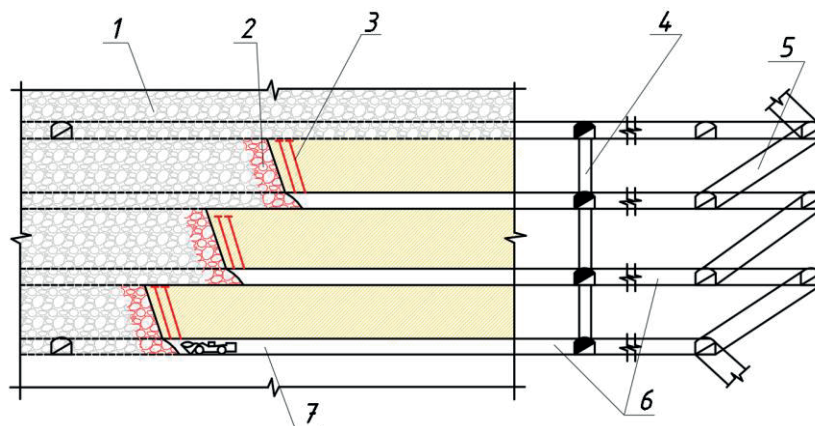
### Полученные результаты

**Камерно-столбовая система разработки.** Расстояние по высоте между основными откаточными горизонтами составляет 50 м. Длина рудного участка по простиранию определяется параметрами рудного тела.

При отработке запасов панели для поддержания очистного пространства оставляются междуканальные целики, размеры которых принимаются на основании геомеханических расчетов.

Схема камерно-столбовой системы разработки представлена на рис. 1.

Объемы подготовительно-нарезных работ сведены в табл. 1.



**Рисунок 2. Система разработки с подэтажным обрушением:** 1 – обрушенная порода; 2 – отбитая руда; 3 – взрывные скважины; 4 – вентиляционно-ходовой восстающий; 5 – наклонный съезд; 6 – заезд; 7 – буро-доставочный штрек  
**Figure 2. Development system with sublevel caving:** 1 – collapsed rock; 2 – broken ore; 3 – blast holes; 4 – ventilation-running rising; 5 – runaway; 6 – incline; 7 – drilling-delivery drift

Виды потерь при камерно-столбовой системе разработки:

- в целиках под дном и в бортах карьера;
- на контакте с вмещающими породами и под рудным штреком;
- на почве после отгрузки руды из забоя;
- в выработанном пространстве при погашении целиков.

Для обеспечения устойчивости пород кровли при обнажении камеры рекомендуется выдерживать соотношение 25 % запасов в целиках и 75 % запасов в отработке. Использование породных включений в качестве целиков позволяет снизить потери.

Разубоживание происходит:

- на контактах с породами при проходке выработок;
- на контактах с породами за счет их прихвата при отбойке запасов камер;
- при погашении целиков.

Расчетное содержание металлов в разубоживающей массе составляет 0,34 г/т.

При камерно-столбовой системе разработки напряжения в рудовмещающем массиве распределяются на систему целиков. Ослабление несущей способности одного из них перераспределяет напряжения, что достигает критического значения при доработке целиков во вторую стадию.

Выемка запасов целиков буровзрывным способом сопровождается потерей отбитой руды в недоступном выработанном пространстве, а оставление – к потерям всех запасов целика. При погашении целиков нарушается устойчивость нижнего несущего слоя пород над выработкой, происходит обрушение скальных пород в пределах свода естественного равновесия и выше, что разубоживает руду до забалансового значения.

**Система разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды.** Система разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды рекомендована для отработки крутопадающих тел. Месторождение отрабатывается сплошной выемкой в отступающем порядке подэтажами через 20 м по вертикали. Блок подготавливается заездами, пройденными из спирально-го съезда (рис. 2).

**Таблица 2. Параметры блока**  
**Table 2. Block parameters**

Параметры	Значения
Длина, м	75
Высота блока, м	60
Мощность рудного тела, м	4,2
Высота этажа, м	60
Геологические запасы блока, т	50 000
Потери, %	11,3
Разубоживание, %	26,5
Эксплуатационные запасы, т	60 500

Отбойка руд осуществляется восходящими веерами скважин из буро-доставочного штрека, выпуск отбитой руды – через торец штрека. Параметры блока представлены в табл. 2.

Виды потерь при системе разработки с подэтажным обрушением:

- при отбойке на контакте с вмещающими породами;
- на почве после отгрузки руды из забоя;
- при выпуске под обрушенными породами (рис. 3).

Разубоживание происходит:

- на контактах с породами при проходке нарезных выработок;
- на контактах с породами за счет их прихвата при отбойке камер;
- при выпуске под обрушенными породами.

Содержание в разубоживающей массе 0,34 г/т.

Система разработки с подэтажным обрушением, особенно при значительных размерах камер, радикально изменяет напряженно-деформированное состояние рудовмещающего массива. Окончательный выпуск отбитой руды в блоке приводит в движение налегающие породы с обрушением на всю высоту, нередко до земной поверхности. Примешивание пород к выпускаемой руде увеличивает потери в невыпускаемой из камеры забалансовой отбитой руде и в хвостах обогащения. А невозможность селективизации процесса отбойки руд увеличивает разубоживание руды за счет прихвата вмещающих пород.



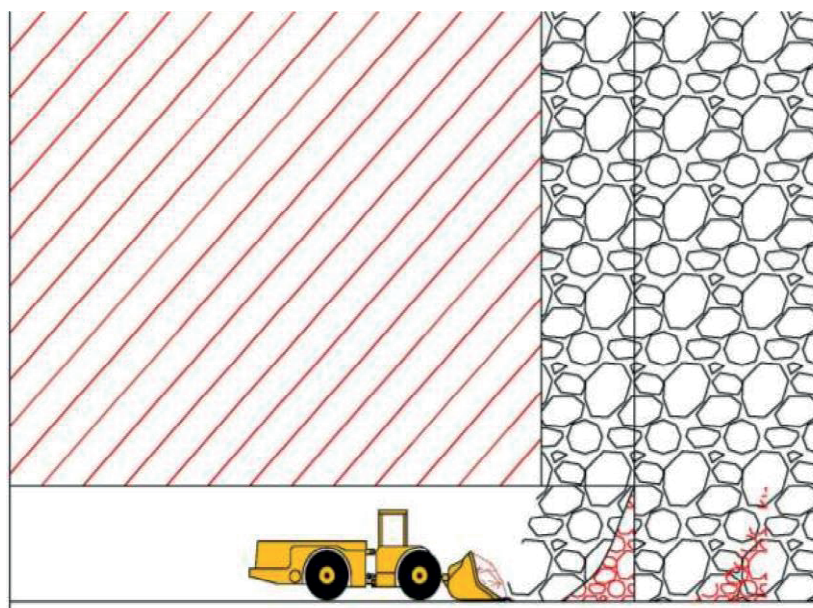


Рисунок 3. Потери руды при выпуске  
Figure 3. Loss of ore during withdrawal

Таблица 3. Показатели качества технологии

Table 3. Technology quality indicators

Системы разработки	Показатели, %	
	Потери	Разубоживание
Камерно-столбовая	10,5	19,1
С подэтажным обрушением	11,3	26,5

И потери, и разубоживание увеличиваются при нечетких контактах рудного тела с вмещающими породами.

Показатели качества в добываемых системах разработки руд; потери и разубоживание велики, что удорожает производство металлов и повышает объемы отходов переработки (табл. 3).

Как правило, эти системы разработки применяют при добыче не очень ценных руд на месторождениях, сложенных малоомощными, преимущественно пологопадающими рудными телами.

**Система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.** Альтернативу проектируемым системам разработки составляет камерная система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими бетонными смесями, которая по показателям полноты использования недр и безопасности для окружающей среды опережает все технологии.

Технологии с закладкой твердеющими смесями обеспечивают большую по сравнению с другими безопасность горных работ. Универсальность этой технологии объясняется возможностью отработки залежей с любым углом падения и мощностью в породах различной крепости.

Технология отличается повышенными затратами, поэтому стремятся использовать дешевые смеси с малой несущей способностью, создавая условия для их применения.

Сохранение рудовмещающего массива и поверхности над ним обеспечивается разделением рудного поля искусственными целиками из твердеющих смесей на разгруженные от высоких напряжений участки.

Исследование технологии управления состоянием массива на аналогичном по условиям локализации месторождении Маньбай позволило установить закономерности изменения напряженности рудовмещающего массива пород в зависимости от параметров добычных работ.

Состав твердеющей смеси для различных участков месторождений выбирается дифференцированно с учетом фактического напряженного состояния массива. Для участков месторождения с повышенными напряжениями используется упрочненный состав, а для других участков – меньшей прочности. Прочность твердеющих смесей может различаться в 2–3 раза.

Концепция обращения с отходами состоит в том, что хвосты переработки руд следует утилизировать. Реализации этого направления в горном производстве препятствует наличие в хвостах переработки руд неизвлеченных металлов [13–15].

Глубокая утилизация хвостов обогащения может обеспечить доход за счет снижения ущерба от хранения хвостов и стоимости, полученных при переработке (табл. 4).

Эколого-экономическая эффективность удешевления товарного продукта разработки месторождения за счет утилизации собственных отходов описывается моделью [16–18]:

$$\Pi = (M_{e,y} \cdot \Pi_{m,y} + Q_y \cdot \Pi_{qy}) - K(1 + E_{n,y}) + E_q + E_x,$$

где  $M_{e,y}$  – количество металлов от утилизации отходов;  $\Pi_{m,y}$  – цена утилизированных металлов;  $Q_y$  – количе-

Таблица 4. Соотношение компонентов твердеющих смесей

Table 4. The ratio of the components of hardening mixtures

Цемент	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>				Прочность закладки, МПа	
	Вяжущие хвосты	Вода	Инертные хвосты	Время твердения, сут		
				28	90	
–	270	380	1370	0,13	0,17	
30	–	380	1620	0,16	0,28	
30	130	380	1490	0,36	0,60	
30	270	380	1370	0,56	0,78	
30	300	380	1340	0,60	0,82	
60	130	380	1460	0,46	0,68	
60	190	380	1410	0,54	0,84	
60	220	380	1380	0,58	0,88	
60	250	380	1350	0,66	0,93	
60	300	380	1300	0,76	0,96	
80	–	380	1455	0,42	0,66	

ство восстановленных эффектов в окружающей среде;  $C_{\text{у}}$  – цена утилизированных веществ;  $E_q$  – коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации;  $E_x$  – коэффициент процентной ставки на кредит для производства металлов;  $E_{\text{н.у}}$  – коэффициент процентной ставки на экологию;  $K$  – затраты на управление хранилищами.

Вопросы выбора систем разработки получили освещение в работах ряда исследователей [18–21].

**Выводы**

Выбор оптимальной по условиям локализации месторождения системы разработки при освоении новых месторождений формирует актуальную проблему, успех решения которой зависит от полноты учета геомеханиче-

ских условий локализации оруденения.

Критерием эффективности систем разработки чаще всего является качество эксплуатации запасов: потери и разубоживание руд. Данному критерию в большей мере отвечает технология с закладкой выработанного пространства твердеющими бетонными смесями.

Качество руд является функцией полноты учета геомеханических факторов эксплуатации месторождений.

Условиям осваиваемого сложноструктурного месторождения ценных руд отвечает система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими бетонными смесями, обеспечивающая управление напряжениями в рудовмещающих массивах.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Технический проект разработки месторождения Кекура. СРО АСП Союз «Проекты Сибири»; рег. № СРО-П-009-05062009. Чита: Забайкалзолотопроект, 2021. 230 с.
2. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus // International Business Management. 2015. Vol. 9(6). P. 1210–1216.
3. Сергеев В. В., Версильов С. О., Версильова Е. С. Ефимов А. М. Концепция повышения безопасности камерно-столбовых систем разработки при выемке наклонных рудных залежей // Вестник МАНЭБ. 2012. Т. 17. № 2. С. 65–66.
4. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Повышение безопасности подземной добычи руд учетом геодинамики массива // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 8. С. 36–42. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-8-36-42>
5. Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2018. № 2. С. 4–9. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-2-4-9>
6. Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Вандышев А. М. Кафедре горного дела УГГУ – 100 лет // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 8. С. 130–143. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>
7. Габараев О. З., Дедегкаева Н. Т., Габараев Г. О. Технология отработки вольфрамowo-молибденовых руд слепой залежи Тырнауэского месторождения // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. № 1. С. 92–102. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2022-1-92-102>
8. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2017. № 1. С. 170–182.
9. Земсков А. Н., Лискова М. Ю., Шарипзянова Г. Х. Закономерности изменения газодинамической и геомеханической обстановки на калийных рудниках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 3 (49). С. 426–432. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-3-426-432>
10. Ляшенко В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1(104). С. 10–15.
11. Душин А. В., Валиев Н. Г., Лагунова Ю. А., Шорин А. Г. Уральский горный и Московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. 2018. № 4. С. 4–10. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.04.01>
12. Малышев Ю. Н., Титова А. В., Черкасов С. В., Булов С. В., Чесалова Е. В. Сравнительный анализ современных методов мониторинга техногенных объектов // Горная промышленность. 2017. № 6 (136). С. 46–49.
13. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 4. С. 23–30.
14. Разоренов Ю. И., Белодедов А. А., Шмаленюк С. А. Определение потерь и разубоживания при разработке месторождений полезных ископаемых // ГИАБ. 2009. № 9. С. 47–50.
15. Абрамкин Н. И., Захарова Р. А., Абрамкина А. Н. Методологические основы технологического и экономического мониторинга горно-технических систем // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 276–282.

16. Ключев Р. В., Босиков И. И., Майер А. В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джебказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. № 3 (41). С. 321–330. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330>
17. Петров Ю. С., Хадзарагова Е. А., Соколов А. А., Шарипзянова Г. Х., Таскин А. В. Основные принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах техногенного цикла горно-металлургического предприятия // ГИАБ. 2020. № 11-1. С. 178–188. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-11-0-178-188>
18. Ключев Р. В., Босиков И. И., Егорова Е. В., Гаврина О. А. Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 3(45). С. 418–427. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-3-418-427>
19. Дзапаров В. Х., Харебов Г. З., Стась В. П., Стась П. П. Исследование сухих строительных смесей на основе отходов производства для подземного строительства // Сухие строительные смеси. 2020. № 1. С. 35–38.
20. Подрезов Д. Р. Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана // Горные науки и технологии. 2020. Т. 5. № 2. С. 131–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-131-153>
21. Хакимов Ш. И., Уринов Ш. Р. Подэтажная система с искусственными целиками из твердеющей закладки для разработки жил в сложных геомеханических условиях // Горные науки и технологии. 2021. Т. 6. № 4. С. 252–258. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-252-258>

Статья поступила в редакцию 07 декабря 2022 года

# Geomechanical aspects of the choice of underground mining

Aleksandr Vladimirovich SAKHNOV

Oleg Znaurovich GABARAEV\*

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Republic of North Ossetia – Alania, Russia

## Abstract

**The purpose and the relevance of the research.** The article is devoted to the current problem of choosing the optimal development system for the new field being put into operation, according to the conditions of localization of the field. **The purpose of the research** is to substantiate the effective technology of field development according to geomechanical conditions.

**Methodology.** Based on the literature data, a critical analysis of the completeness of the extraction of reserves and the effectiveness of the development systems recommended for use with open goaf and ore caving is carried out. Based on the analysis of technology options, an engineering forecast of the results of their implementation is made and an alternative version of the system is recommended.

**Results and scope.** The mining and geological conditions for the localization of a gold ore deposit and the scheme for opening its reserves are described. The characteristics of the variants of development systems recommended by the project for use, the analysis of the quality indicators of the extraction of reserves are given. An alternative technology has been proposed with the backfilling of the goaf with hardening concrete mixtures, which is distinguished by higher quality indicators of the mined ores. It is shown that the quality of ores is a function of the completeness of taking into account the geomechanical factors of exploitation of deposits. It is noted that the utilization of ore enrichment tailings is possible only if they are demetallized to certain limits, and the direction for this is indicated. An ecological and economic model for evaluating the effectiveness of the field development technology in terms of the ratio of ecological and economic indicators is proposed.

**Conclusions.** The conditions of the considered complex-structural deposit of valuable ores are met by variants of development systems with backfilling of the worked-out space with hardening concrete mixtures, which provide control of stresses in the ore-bearing massifs and a significantly higher quality of the mined ores, the equipment and infrastructure used.

**Keywords:** gold deposit, reserves, development system, extraction quality, filling, hardening mixtures, geomechanical factors, model.

## REFERENCES

1. The technical project for the development of the Kekura field. Chita, 2021, 230 p. (In Russ.)
2. Khasheva Z. M., Golik V. I. 2015, The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*, vol. 9 (6), pp. 1210–1216.
3. Sergeev V. V., Versilov S. O., Versilova E. S. Efimov A. M. 2012, The concept of improving the safety of room and pillar mining systems when mining inclined ore deposits. *Vestnik MANEB* [Bulletin of the international academy of sciences of environment and safety of life], vol. 17, no. 2, pp. 65–66. (In Russ.)
4. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z. 2019, Safety Improvement of the Underground Ore Extraction Considering Mass Geodynamics. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational safety in industry], no. 8, pp. 36–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2019-8-36-42>
5. Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., Kokarev K. V. 2018, Problems of development of safety pillars during the exploitation of ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal* [Minerals and mining engineering], no. 2, pp. 4–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-2-4-9>
6. Valiev N. G., Propp V. D., Vandyshev A. M. 2020, The Department of Mining of USMU is 100 years old. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal* [Minerals and mining engineering], no. 8, pp. 130–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-130-143>
7. Gabaraev O. Z., Dedegkaeva N. T., Gabaraev G. O. 2022, Technology of development of tungsten-molybdenum ores of the blind deposit of the Tyrnyauz deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal* [Minerals and mining engineering], no. 1, pp. 92–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2022-1-92-102>
8. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. 2017, Geomechanical and aerogasdynamical consequences of underworking mining leases territories of eastern Donets basin mines. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [Earth Science Series], no. 1, pp. 170–182. (In Russ.)
9. Zemskov A. N., Liskova M. Yu., Sharipzyanova G. Kh. 2021, Patterns of changes in the gas-dynamic and geomechanical situation in potash mines. *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], vol. 13, no. 3 (49), pp. 426–432. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-3-426-432>
10. Lyashenko V. I. 2015, Environmental technologies for the development of complex structure mineral deposits. *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveying Bulletin], no. 1 (104), pp. 10–15. (In Russ.)
11. Dushin A. V., Valiev N. G., Lagunova Yu. A., Shorin A. G. 2018, Ural Mining University and Moscow Mining University: interaction of higher education institutions. *Gornyy zhurnal* [Mining magazine], no. 4, pp. 4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.04.01>

\*[gabaraev59@mail.ru](mailto:gabaraev59@mail.ru)



12. Malyshev Yu. N., Titova A. V., Cherkasov S. V., Bulov S. V., Chesalova E. V. 2017, Advanced methods of technology-related waste deposit monitoring. Comparative analysis. *Gornaya promyshlennost'* [Russian mining industry], no. 6 (136), pp. 46–49. (In Russ.)
13. Komashchenko V. I. 2015, Environmental-economical expediency of utilizing mining-industrial wastes for their converting. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of the Tula State University. Earth Sciences], no. 4, pp. 23–30. (In Russ.)
14. Razorenov Yu. I., Belodedov A. A., Shmalenyuk S. A. 2009, Determination of losses and impoverishment in the development of mineral deposits. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], no. 9, pp. 47–50. (In Russ.)
15. Abramkin N. I., Zakharova R. A., Abramkina A. N. 2012, Methodological foundations of technological and economic monitoring of mining systems. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [News of the Tula State University. Earth Sciences], no. 2, pp. 276–282. (In Russ.)
16. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V. 2019, Comprehensive analysis of genetic characteristics of mineral matter and technological properties of useful components of the Dzhezkazgan deposit. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], vol. 11, no. 3 (41), pp. 321–330. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-3-321-330>
17. Petrov Yu. S., Khadzharagova E. A., Sokolov A. A., Sharipzyanova G. Kh., Taskin A. V. 2020, Acquisition, transmission and storage of information on production-induced cycle in mining and metallurgy: outlines. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], no. 11-1, pp. 178–188. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-111-0-178-188>
18. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Egorova E. V., Gavrina O. A. 2020, Assessment of mining-geological and mining-technical conditions of the Severny quarry using mathematical models. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], vol. 12, no. 3 (45), pp. 418–427. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-3-418-427>
19. Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Z., Stas V. P., Stas P. P. 2020, Study of dry building mixes based on production waste for underground construction. *Sukhiye stroitel'nyye smesi* [Dry building mixes], no. 1, pp. 35–38. (In Russ.)
20. Podrezov D. R. 2020, The tasks of improving the management and increasing the efficiency of the operation of technological blocks of the mine of underground borehole leaching of uranium. *Gornyye nauki i tekhnologii* [Mining science and technology], vol. 5, no. 2, pp. 131–153. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-131-153>
21. Khakimov Sh. I., Urinov Sh. R. 2021, Under-level system with artificial pillars from hardening backfill for mining veins in difficult geomechanical conditions. *Gornyye nauki i tekhnologii* [Mining science and technology], vol. 6, no. 4, pp. 252–258. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-252-258>

The article was received on December 07, 2022